



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mikko Nortunen

RAKENNUSFYSIIKAN PERUSTEITA SEKÄ POHJALAISEN TALON RISKI- RAKENTEET

Tekniikka
2017

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mikko Nortunen
Opinnäytetyön nimi	Rakennusfysiikan perusteita sekä pohjalaisen talon riskirakenteet
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	43
Ohjaaja	Heikki Paananen

Opinnäytetyössä keskitytään rakennusfysiikan perusteisiin tutkimalla pohjalaisen perinnetalon rakenneratkaisuja. Työn tilaajana toimii yksityinen taho Isossakyrössä. Opinnäytetyön pääpaino on teoriaosuudessa, jota tukee kohteen korjausrakennesuunnittelu. Työssä halutaan nostaa esille rakennusten kosteus- ja homeongelmien syyt ja seuraukset sekä terveellisen asumisen mahdollistaminen.

Työn teoriaosuus painottuu rakenteiden lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen ymmärtämiseen. Lisäksi käsitellään kosteusvaurioiden ja homekasvustojen syntyyn vaikuttavia syitä ja seurauksia. Työssä pohditaan, mitkä ovat vanhoille rakennuksille sopivia rakennusmateriaaleja sekä kosteusteknisesti toimivia rakenneratkaisuja. Rakennuksen lämpökuvauksesta sekä kosteusmittauksesta esitetään perusteet.

Kohteen rakennesuunnittelu tukee teoriaa hirren hengittävyysominaisuudesta eli kyvystä vastaanottaa ja luovuttaa kosteutta. Hirsi on rakennusmateriaalina hyvä vaihtoehto juuri kosteuskäyttäytymisensä vuoksi. Energiatehokkuuden kannalta rakennusten tulee olla myös ilmatiiviitä sekä riittävästi eristettyjä. Terveellisten rakenteiden suunnittelussa tulee estää kosteuden pääseminen rakenteisiin sekä mahdollistaa rakenteiden tuulettuminen sekä kuivuminen. Työ antaa lukijalle hyvän kuvan rakenteiden lämpö- ja kosteuskäyttäytymisestä sekä kosteus- ja homevaurioiden ennaltaehkäisystä.

Avainsanat	rakennusfysiikka, kosteusvaurio, riskirakenne, lämpökuvaus, kosteusmittaus
------------	--

ABSTRACT

Author	Mikko Nortunen
Title	The Basics of the Structural Physics and the Risk Structures of an Ostrobothnian House
Year	2017
Language	Finnish
Pages	43
Name of Supervisor	Heikki Paananen

The objective of the thesis was to concentrate on the basics of the structural physics by surveying structural solution of an Ostrobothnian house. The client of this thesis was a private person in Isokyro. The main part of thesis was based on the theory which is supported by the structural design. The thesis wants to highlight the causes and effects of moisture and mold problems and enable healthy living.

The main part of the theory concentrates on the understanding of the heat and moisture behaviour of structures. Additionally, the causes and effects of moisture and mold problems were dealt with. Suitable construction materials for old buildings were considered and also how the materials will work by heat and moisture technically. The basics of the thermographic survey and moisture measurement were presented.

The structural design supported the theory of the breathing feature of the log. It meant that the log is able to release and receive moisture. That is why the log is a good construction material. The position of the energy efficiency buildings must be airtight and isolated enough. In the design of the healthy structures the penetration of the moisture into the structure has to be prevented and enable the ventilation and dehydration of the structure. The thesis gives a good account of the heat and moisture behaviour of structures and the prevention of the moisture and mold problems for the reader.

Keywords	Structural physics, moisture damage, risk structure, thermographic survey, damp measuring
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	8
2	POHJALAINEN RAKENNUSKULTTUURI	9
2.1	Historia.....	9
2.2	Rakennusperinteen säilyttäminen	10
3	RAKENNUSFYSIKKA.....	12
3.1	Lämpö	12
3.1.1	Lämmön siirtymismuodot	12
3.1.2	Lämpötekniisiä määritelmiä	13
3.2	Kosteus.....	14
3.2.1	Diffuusio	14
3.2.2	Kosteustekniisiä määritelmiä	15
3.2.3	Rakennuskosteus	16
4	KOSTEUSVAURIOT	19
4.1	Kosteusvaurioiden syitä	19
4.2	Homeiden synty	19
4.3	Hengittävä rakenne	20
4.4	Epäpuhtauksien vaikutus terveelliseen asumiseen.....	21
4.4.1	Sisäilmanlaatu	21
4.4.2	Sisäilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä	23
5	POHJALAISEN TALON RAKENNERATKAISUT	25
5.1	Perustukset ja alapohja.....	25
5.2	Hirsiseinärakenne.....	27
5.3	Välipohja ja yläpohja	29
5.4	Vesikattorakenne.....	29
6	LÄMPÖKUVAUS JA KOSTEUSMITTAUS	31
6.1	Lämpökuvauksen perusteita.....	31
6.1.1	Kaksivaiheinen lämpökuvaus ja tiiveysmittaus	33

6.1.2	Lämpökuvien tulkinta	34
6.2	Kosteusmittauksen perusteita.....	34
7	KORJAUSSUUNNITTELU	36
7.1	Perustukset ja alapohja.....	36
7.2	Hirsiseinärakenne.....	39
7.3	Välipohja ja yläpohja	39
7.4	Vesikattorakenne.....	40
8	POHDINTA.....	41
	LÄHTEET.....	42

KUVALUETTELO

Kuva 1. Esimerkki pohjalaistalon 1.kerroksen pohjapiirroksista. /1/	10
Kuva 2. Lämmön siirtyminen ikkunassa. /7/	13
Kuva 3. Diffuusio rakennuksessa. /7/	15
Kuva 4. Rakennuksen kosteustekniseen toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä. /7/	17
Kuva 5. Pakotettu konvektiovirtaus ja kosteuden siirtyminen. /7/	18
Kuva 6. Terveydelle haitallisia yhdisteitä. /10/	22
Kuva 7. Haitallisten yhdisteiden käyttöaikakaudet. /10/	23
Kuva 8. Sisäilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä. /10/	24
Kuva 9. Multapenkkirakenne. /1/	26
Kuva 10. Rossipohja eli täytepohjarakenne. /1/	27
Kuva 11. Kosteuden tiivistyminen hirsiseinässä. /2/	28
Kuva 12. Esimerkki vesikaton lämmöneristyksestä. /1/	30
Kuva 13. Esimerkki hirsitalon lämpökamerakuvasta. /11/	33
Kuva 14. Esimerkki multapenkkirakenteen lisäeristämisestä. /1/	37
Kuva 15. Esimerkki rossipohjan lisäeristämisestä. /1/	38

KÄSITELUETTELO

Pohjalaistalo	Yksi- tai kaksikerroksinen pitkä hirsitalo, joita rakennettiin Pohjanmaalle 1700 – 1900-luvun aikana.
Tuparati	Kaksikerroksinen eli kaksifooninkinen pohjalaistalo, jossa on pitkät yläkerran ikkunat.
Porstua	Pohjalaistalossa nimitys eteiselle.
Puolitoistafooninkinen	Puolitoistakerroksinen pohjalaistalo, jossa yläkerassa ovat räystääsikkunat eli haukanikkunat.
Johtuminen	Johtumisessa eli konduktiossa lämpö pyrkii tasoittumaan eli siirtymään väliaineessa lämpimämmästä kylmempään päin.
Konvektio	Konvektiossa eli virtauksessa lämpö siirtyy nesteen tai kaasun mukana.
Kylmäsilta	Kylmäsilta on rakenteen kohta, missä materiaalin lämmöneristyskyky on heikompi kuin ympärillä olevan materiaalin lämmöneristyskyky.
Diffuusio	Diffuusiolla tarkoitetaan kosteuden siirtymistä rakenteissa vesihöyrynä. Kosteuden liikkuminen johtuu vesihöyryn osapaine-erosta.
Hengittävä rakenne	Hengittävä rakenne tarkoittaa kaasujen siirtymistä rakenteessa materiaalin läpi. Toisin sanoen hengittävällä rakenteella on kyky päästää lävitseen vesihöyryä sekä mahdollisuus sitoa ja luovuttaa vettä rakenteen kastumatta.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön teoriaosuus painottuu pääosin pohjalaistalon riskirakenteiden kosteuskäyttäytymisen tutkintaan, rakennekosteusanalyysiin, rakennusmateriaalien käytön soveltuvuuteen sekä rakennusfysiikan ymmärtämiseen. Työssä käsitellään myös pohjalaisen rakennusperinteen historiaa osana pohjalaista kulttuuriperinnettä sekä kosteus- ja homeongelmien vaikutusta terveelliseen asumiseen. Case-vaiheessa analysoidaan pohjalaisen rakennuksen riskirakenteita rakennesuunnittelun avulla. Työn tavoitteena on antaa lukijalle kattava kuva pohjalaisen perinnetalon rakenneratkaisuista, mahdollisista rakennekosteusriskeistä ja – ongelmista, niiden terveysvaikutuksista sekä rakenteiden korjaustoimenpiteistä.

Opinnäytetyö on toteutettu yksityisenä hankkeena Pohjanmaalla Isossakyrössä sijaitsevaan pohjalaistaloon. Rakennus on rakennettu vuosina 1882 – 1884. Kohteeseen on tehty peruskorjaus vuonna 1965, minkä yhteydessä on uusittu suihku sekä vesiputket. Samana vuonna on rakennettu sisävässä sekä keittiön kellari. Perustamistapana rakennuksessa on tuulettuva alapohja eli rossipohja. Kohteesta ei ole saatavissa tarkempia rakennuspiirustuksia. Museovirasto on hyväksynyt kohteen suojelukohteeksi. Työssä on haluttu nostaa esille mahdollisia riskirakenteita ja niiden aiheuttamia kosteusvaurioita sekä vaikutuksia ihmisten terveyteen. Painoarvoa on haluttu myös rakennusfysiikan ymmärtämiseen. Tämä aihe on erityisen tärkeä ihmisten terveyden ja hyvinvoinnin kannalta.

Korjaussuunnitelma- sekä pohdintaosiossa on analysoitu ja selvitetty riskirakenteiden korjausvaihtoehtoja. Analysointi perustuu lähteinä olevaan aineistoon sekä rakennusfysiikan perusteisiin. Lähteinä olevaa aineistoa on sovellettu pohjalaistaloon sopivaksi. Opinnäytetyön on tarkoitus olla kompakti tietoisuus rakennusfysiikan sekä kosteusongelmien ymmärtämisen tärkeydestä tavallisille asukkaille.

2 POHJALAINEN RAKENNUSKULTTUURI

Pohjalainen rakennustekniikka ja -arkkitehtuuri on vielä nykypäivänäkin vahvasti esillä pohjalaismaakunnissa. Nämä ovat tärkeä osa maamme kulttuuriperintöä, vaikka ovatkin osa katoavaa kansanperinnettä. Etenkin hirsirakentaminen korostuu Kyrönjoen varrelle rakennetuissa arvokkaissa pohjalaistaloissa, mitkä ovat tunnettuja niiden pitkäikäisyydestään. Pohjalaista kulttuurimaisemaa onkin luonnehdittu tasaiseksi viljelysmaaksi, jossa joet kiemurtelevat kylästä toiseen ja ryhdikkäinä seisovat pohjalaistalot kertovat maakunnan miesten osaavista kirvesmiestaidoista /1/.

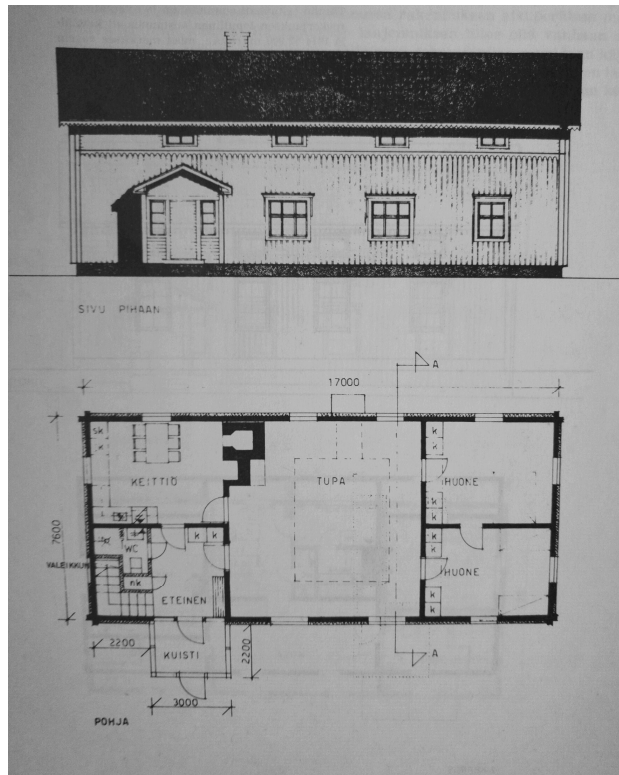
2.1 Historia

Pohjalainen rakennustekniikka on kukoistanut etenkin 1700- ja 1800-luvulla, jolloin viljelyn ja maatalouden nopea kasvu on johtanut vahvaan jokivarsiasuttamiseen. Maata on jaettu eri palstoiksi isojaolla ja sarkajaolla. Tällä on pyritty helpottamaan maanomistajien maanviljelyä ja metsänhoitoa. Pohjalaiset kirvesmiehet ovat vieneet teknistä osaamista sekä rakentamisen tapoja Ruotsiin. Vastavuoroisesti vaikutteita on saatu myös Ruotsista. /3, 4/

Pohjalaiseen pihapiiriin on rakennettu päärakennuksen lisäksi aittoja ja talleja sekä eläimille, viljalle että työkoneille. Päärakennuksen on tullut olla iso suuren perhekoon vuoksi. Pohjaratkaisuna on tuolloin vallinnut kaksi perustyyppiä: yksitupainen sekä kaksitupainen rakennus, tuparati. Rakennuksessa sijaitsee tavallisesti porstua, kamareita, tupia, suuri takkamuuri, keittiö sekä ullakko. Kuvassa 1 on esimerkki yksitupaisen pohjalaistalon pohjapiirroksesta, mistä huomataan juuri isolle perheelle suunniteltu pohjaratkaisu. /1/

Tyypillisiin arkkitehtuuriin ratkaisuihin 1800-luvun pohjalaistaloissa on kuulunut muun muassa räystäslistan korostaminen, ikkunoiden 6-ruutuisuus sekä ovien peilijako /1/. Symmetria on nähtävissä esimerkiksi ikkunoiden sijoittelussa, mitkä ovat suorassa linjassa alakerran ikkunoiden kanssa. Niin kutsutussa puolitoistafoninkisessa pohjalaistalossa yläkerrassa ovat matalat räystäsiikkunat, haukanik-

kunat, kun taas kaksifooninkisessa talossa yläkerrassa on täysikokoiset ikkunat /5, 6/.



Kuva 1. Esimerkki pohjalaistalon 1.kerroksen pohjapiirroksesta. /1/

2.2 Rakennusperinteen säilyttäminen

Nykypäivänä yhteiskunnan nopean rakennusteknisen muutoksen sekä asenteiden muuttumisen seurauksena myös pohjalainen maisema on uudistunut. Uudisrakentaminen on ottanut vahvan asemansa vanhan rakennuskannan ja kulttuurimaiseman seassa. Maamme rakennuskanta on hyvin nuorta. 1800- ja 1900-lukujen vaihteessa rakennettujen talojen osuus on alle 2 prosenttia kaikista rakennuksista /2/. Museovirasto on kuitenkin mahdollistanut vanhan rakennusmaiseman aseman turvaamisen asettamalla kulttuurihistoriallisesti arvokkaita rakennuksia suojelu-kohteiksi.

Kuten mikä tahansa rakennus, myös iso pohjalaistalo vaatii säännöllisiä huolto-toimenpiteitä pysyäkseen käyttötarkoituksen mukaisessa kunnossa. On huolestut-

tavaa, että vanhasta rakennuskannasta ei haluta enää pitää huolta esimerkiksi suurten korjauskustannusten tai teknisen toteuttamisen tiedon puutteen vuoksi. Usein on taloudellisempaa purkaa vanha rakennusosa ja rakentaa uusi kuin yrittää korjata vanhaa. Halvin ratkaisu on kuitenkin rakennuksen ja sen osien säännöllinen huolto. Uutta rakentaessa tai vanhaa kunnostettaessa tulisi mahdollisuuksien mukaan säilyttää vanhan rakenteen arvokkuus sekä historia käyttämällä alkuperäisiä materiaaleja ja työmenetelmiä. /1/

Tulevaisuudessa rakennusten huolto ja peruskorjaukset korostuvat entisestään. Ilman näitä toimenpiteitä pohjalainen rakennusmaisema menettää sille tunnusomaiset ominaisuutensa ja identiteettinsä. Vaikka rakennuksen huolto- ja korjauskustannukset saattavat olla kertainvestointina varsin korkeat, täytyy vastavuoroisesti turvata pohjalaisen rakennuskulttuurin säilyminen myös jälkipolville.

3 RAKENNUSFYSIKKA

Vanhat pohjalaisrakennukset ovat oma lajinsa rakennuskannassamme. Rakennuksissa on käytetty vanhoja menetelmiä ja materiaaleja, joita ei välttämättä ole nykyään enää tarjolla. Rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden kannalta on erityisen tärkeää ymmärtää rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta varsinkin, jos ja kun rakenteisiin tehdään muutoksia.

3.1 Lämpö

Rakentamisessa lämmöllä tarkoitetaan rakennuksen lämmittämiseen ja ihmisten hyvinvoinnin kannalta välttämätöntä lämmöntuottoa ja sen siirtymistä /7/. Lämpö voi siirtyä rakenteissa kolmella eri tavalla: johtumalla, säteilemällä ja konvektiolla. Lämmönsiirtyminen aiheutuu ilman lämpötilaerosta /8/.

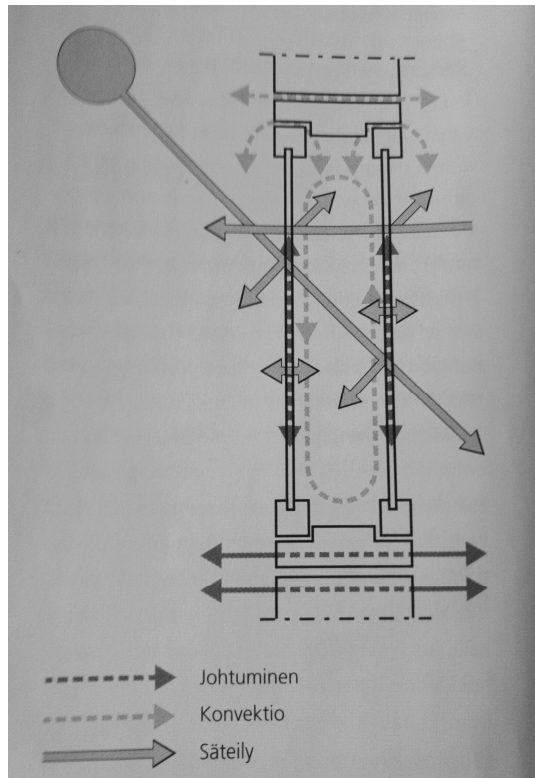
3.1.1 Lämmön siirtymismuodot

Johtumisessa eli konduktiossa lämpö pyrkii tasoittumaan eli siirtymään väliaineessa lämpimämmästä kylmempään päin. Käytännössä tämä tapahtuu lämpövirran siirtymisenä molekyylisestä toiseen molekyylisen liike-energiana. Esimerkiksi eri metallit johtavat hyvin lämpöä, kun taas nesteet ja kaasut johtavat lämpöä huonosti. /7, 8/

Säteilyssä eli emissiossa lämpöenergia siirtyy sähkömagneettisella aaltoliikkeellä. Aaltopituutta on sekä lyhyttä että pitkää. Lyhytaaltoisena säteilylämpö ilmenee auringonsäteilyssä, kun taas pitkänä säteilylämpö esiintyy kappaleiden säteilemänä lämpönä. Kaikki kappaleet, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen -273°C yläpuolella emittoivat eli lähettävät lämpösäteilyä. /7, 8/

Konvektiossa eli virtauksessa lämpö siirtyy nesteen tai kaasun mukana. Rakentamisessa lämpö siirtyy tavallisesti ilmavirran mukana. Konvektiota on kahdentyyppistä: pakotettua tai luonnollista. Pakotetussa konvektiossa neste tai kaasu liikkuu ulkopuolisen voiman vaikutuksesta, esimerkiksi ilmavirran mukana. Harvinaisemmassa luonnollisessa konvektiossa lämpötilan aiheuttama tiheysero ai-

heuttaa lämmön liikkeen. /7, 8/ Kuvassa 2 on esitetty esimerkki lämmön siirtymisestä rakennusosassa lämmön eri muodoissa.



Kuva 2. Lämmön siirtyminen ikkunassa. /7/

3.1.2 Lämpötekniisiä määritelmiä

Lämmönjohtavuus λ kertoo, miten hyvin materiaali johtaa lämpöä. Tarkemmin määriteltynä se kuvaa lämpövirran tiheyden pituusyksikön homogeenisen materiaalikerroksen läpi, kun lämpötilaero materiaalien välillä on yksikön suuruinen. Lämmönjohtavuuden yksikkö on W/mK. Mitä pienempi lämmönjohtavuuden arvo on, sitä heikommin materiaali johtaa lämpöä. /7/

Lämmönvastus R kuvaa homogeenisen tai kerroksellisen materiaalikerroksen lämmönvastusta materiaalipintojen lämpötilaeron ja lämpövirran tiheyden suhteen. Materiaalin sisäpuolinen pintavastus R_{si} ja ulkopuolinen pintavastus R_{se} ilmoittavat rakennusosan pinnan ja ympäristön välisen rajapinnan lämmönvastuksen. Lämmönvastuksen yksikkö on m^2K/W . /7/

Rakenteen lämmönläpäisykertoimella eli U-arvolla tarkoitetaan lämpövirran tiheyttä, mikä läpäisee rakennusosan. Lämmönläpäisykertoimen yksikkö on W/m^2K . Eri rakenteille on Suomen rakentamismääräyskokoelmassa määrätty U-arvojen vähimmäisvaatimukset. /9/

Kylmäsilta on rakenteen kohta, missä materiaalin lämmöneristyskyky on heikompi kuin ympärillä olevan materiaalin lämmöneristyskyky. Rakenteen lämpövuoto tapahtuu kylmäsilan kautta. Kylmäsilan yhteydessä puhutaan konduktanssista eli johtokyvystä. /8/

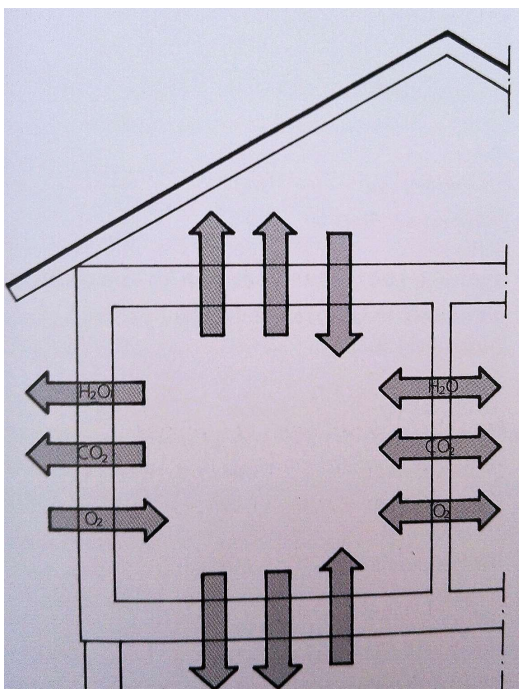
3.2 Kosteus

Kosteudella tarkoitetaan vettä joko kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä olomuodossa. Kaasumainen olomuoto tunnetaan vesihöyrynä ja kiinteä olomuoto jäänä. Kosteus ilmoitetaan prosentteina, ja kosteusmäärä painoprosentteina. Tämä tarkoittaa aineeseen sitoutuneen kosteuden suhdetta aineen massaan. Kosteutta on kaikkialla; niin ilmassa, rakenteissa kuin materiaaleissakin. Monesti mielletään, että vain näkyvä vesi on kosteutta. Täytyy kuitenkin ymmärtää, että pelkästään vesihöyry saattaa aiheuttaa rakenteisiin päästyään vaurioita. /7/

3.2.1 Diffuusio

Diffuusiolla tarkoitetaan kosteuden siirtymistä rakenteissa vesihöyrynä. Kosteuden liikkuminen johtuu vesihöyryn osapaine-erosta. Kosteutta liikkuu ilmavirran mukana myös konvektiolla. Kosteus pyrkii diffusoitumaan rakenteen läpi tilaan, minkä vesihöyryn osapaine on pienempi. Pääsääntöisesti diffuusion suunta on lämpimästä kylmään. Suunta voi myös olla kylmästä lämpimään, mikäli osapaine on kosteudelle suotuisa. /7/

Kuvassa 3 on kuvattu diffuusioilmiötä rakennuksessa. Kaasut, kuten vesihöyry, happi ja hiilidioksidi, pyrkivät liikkumaan pienemmän vesihöyryn osapaineen suuntaan. Rakenteiden kuivana pysymisen kannalta on erityisen tärkeää, että ehjä höyrynsulkumuovi on asennettu rakenteen lämpimään sisäpintaan. Tällöin estetään kosteuden pääseminen rakenteeseen. /7/



Kuva 3. Diffuusio rakennuksessa. /7/

3.2.2 Kosteusteknisiä määritelmiä

Höyrynsululla tarkoitetaan rakenteen materiaalikerrosta, useimmiten muovia, minkä tehtävä on estää vesihöyryn diffuusio rakenteessa. Usein käytetään myös termejä kosteuseristys ja vedeneristys. Diffuusion estämisen lisäksi kyseisillä eristeillä pyritään estämään veden kapillaarinen nousu rakenteissa. Kapillaarinen vedenliike tarkoittaa veden liikettä huokosalipaineen ansiosta materiaalissa. Esimerkiksi perustuksissa kapillaarinen nousu voi aiheuttaa ongelmia muille yläpuolisille rakenteille. Veden kapillaarinen nousukorkeus on sitä suurempi, mitä hienompaa on maalajin raekoko. /7/

Märkätälalla tarkoitetaan esimerkiksi kylpyhuonetta, jossa lattiapinta on usein kosteudelle altis. Vedeneristys tulee olla sekä lattiassa että seinässä. /7/ Vedeneristys on välttämätön rakennusosa oikein toimivalle märkätilarakenteelle.

Tuulensuoja tarkoittaa materiaalikerrosta, minkä tehtävä on estää ilmavirtaus ulkopuolelta sisäpuoliseen rakenteeseen. Rakenteissa on oltava myös tuuletusväli,

minkä kautta ilmavirtaus kuivattaa rakennetta. Rakenteen kuivumisen kannalta on ehdottoman tärkeää, että rakenteen tuuletus on hoidettu riittävästi. /7/

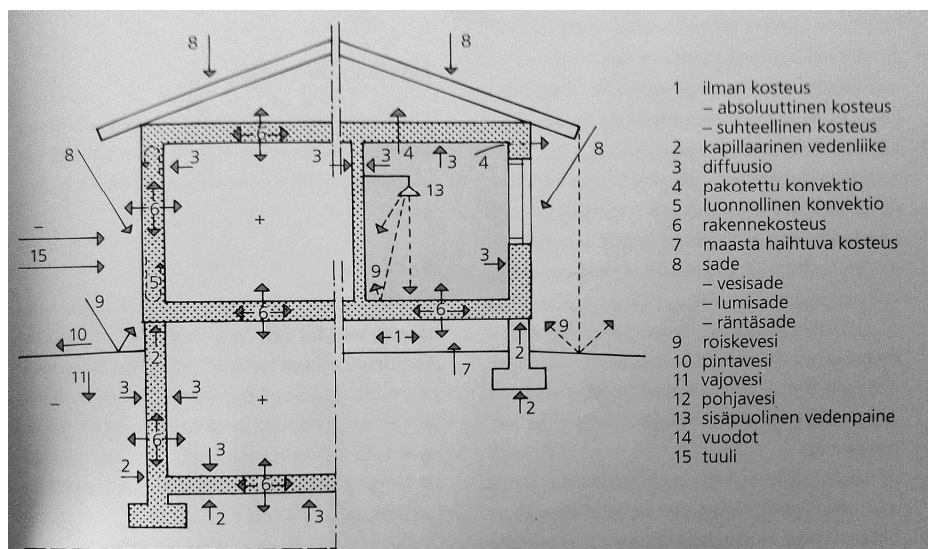
Absoluuttinen kosteus kertoo ilman sisältämän vesihöyryn määrän grammoina kuutiota kohden (g/m^3). Rakennustekniikassa useimmiten käytetty termi on ilman suhteellinen kosteus (RH), mikä ilmoittaa prosentteina tietyn lämpöisen ilman sisältämän vesihöyryn määrän enimmäisvesihöyrymäärästä (g), minkä ilma voi sisältää. Suhteellinen kosteus ei voi ylittää 100 %. Suhteellista kosteutta voidaan mitata myös vesihöyryn osapaineen avulla. Se tarkoittaa painetta, jonka ilman sisältämä vesihöyry aiheuttaa. Jos ilma sisältää enimmäismäärän vesihöyryä, puhutaan kyllästyskosteudesta. Kastepiste tarkoittaa lämpötilaa, jossa vesihöyry kondensoituu eli muuttuu vedeksi rakenteissa. /7/

Rakennusmateriaaleille määritetään usein myös vesihöyrynläpäisevyys ja vesihöyrynvastus. Nimensä mukaisesti vesihöyrynläpäisevyys kuvaa aineen ominaisuutta päästää vesihöyryä lävitse, kun taas vesihöyrynvastus kuvaa materiaalin vesihöyryn virtausta vastustavaa ominaisuutta. Vesihöyrynläpäisevyydelle käytetään yksikköä $\text{kg}/(\text{msPa})$, ja vesihöyrynvastukselle $\text{m}^2\text{sPa/kg}$. Hygroskooppinen kosteus tarkoittaa kosteutta, jonka materiaali pystyy sitomaan tai luovuttamaan. Tasapainokosteus tarkoittaa kosteutta, milloin materiaali on tasapainokosteudessa ympäröivän ilman ja lämpötilan kanssa. Se ei luovuta eikä vastaanota kosteutta. Aineessa kosteus liikkuu ulkoisten voimien, kuten ilmanpaineen, ansiosta. Kosteuden kulkeutumista aineeseen kutsutaan absorptioksi, sen liikkumista itse materiaalissa sorptioksi ja poistumista materiaalista desorptioksi. /7/

3.2.3 Rakennuskosteus

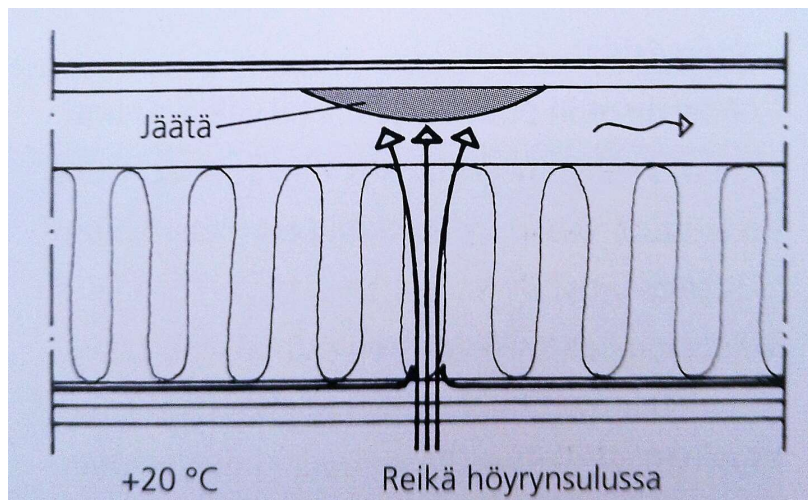
Rakennus altistuu jatkuvasti kosteudelle, sillä sitä on kaikkialla. Rakenteiden täytyy olla kosteusteknisesti oikein suunniteltuja, jotta vältetään kosteus- ja homevaurioita. Tavallisesti rakennusten kosteus- ja homevauriot johtuvat suunnitteluvirheistä, rakentamisen aikana tehdyistä virheistä, kiireellisestä aikataulusta tai rakennuksen käyttövirheistä. /7/

Kuvassa 4 on kuvattu tekijöitä, joista aiheutuu rakennuskosteutta. Ilmassa on aina kosteutta, joka liikkuu diffuusion ja konvektion avulla. Kapillaarinen nousu maaperästä rasittaa perustuksia ja alapohjarakenteita. Täytyy muistaa, että rakenteet pyrkivät tasapainokosteuteen ympäröivän ilman ja lämpötilan kanssa. Koska maaperän suhteellinen kosteus on aina 100 %, myös maaperän kanssa kosketuksessa olevien rakenteiden suhteellinen kosteus on korkea. Erilaiset sade-, roiske- ja valumavedet rasittavat rakennusta ulkopuolelta yhdessä tuulen kanssa. Rakennuksen sisäpuolella suuria kosteuslähteitä ovat märkätilat ja keittiöt. /7/



Kuva 4. Rakennuksen kosteustekniseen toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä. /7/

Kuvassa 5 esitetään kosteuden siirtymistä ilmavirran mukana höyrynsulussa olevan reiän kautta ilmanpaine-erojen ansiosta ja vesihöyryn kondensoitumista jääksi. Varsinkin talviaikaan yläpohjatilassa on useita asteita pakkasta, jolloin syntyy jäätä. Tämän vuoksi on ehdottoman tärkeää, että höyrynsulkumuovi on ehjä. /7/



Kuva 5. Pakotettu konvektiovirtaus ja kosteuden siirtyminen. /7/

Rakentamisessa täytyy ottaa huomioon myös eri materiaalien kosteuseläminen. Esimerkiksi hirsirakentamisessa mäntypuu kutistuu kuivuessaan kasvukosteudesta absoluuttisen kuivaksi 0,2–0,3 % pituussuunnassa, 8 % tangentin suunnassa ja säteen suunnassa 4 %. Eri materiaalit saattavat vääristyä, pullistua tai kaareutua kosteuden takia. Tällöin rakenteisiin on jätettävä tilaa kosteuselämiselle. Tavallisen rakennuksen kosteuseläminen on noin puolet edellä mainituista arvoista. /7/

4 KOSTEUSVAURIOT

Valtaosa rakennusten kosteusvaurioista sijaitsee rakennuksen vaipassa. Yli puolet kokonaisvaurioista sijaitsee yläpohjassa, mutta myös ulkoseinässä ja alapohjassa on usein kosteusongelmia. /8/ Yleisimmät kosteusvaurioiden aiheuttajat ovat rakennuskosteus, maakosteus sekä putkivuodot. Myös rakennusosien puutteellinen kuivatus aiheuttaa usein ongelmia /7/.

4.1 Kosteusvaurioiden syitä

Rakentamisen aikana saatetaan suurestikin edesauttaa kosteuden pääsemistä rakenteisiin. Esimerkiksi villojen ja puutarvikkeiden säilyttäminen työmaalla täytyy olla hoidettu oikein. Ne täytyy varastoida sateelta suojattuna, sekä kuivattaa ennen käyttöönottoa. Valitettavan usein esimerkiksi betonin ei anneta kuivua riittävän kauan ja sen päälle asennetaan muovimatto, jolloin kuivuessaan muovista pääsee ilmaan haitallisia yhdisteitä /7/.

Muovin maine rakennusmateriaalina on myöskin kärsinyt. Se pitää oikeassa paikassa ja oikein käytettynä rakenteet kuivina eikä päästä kosteutta rakenteen sisään. Valitettavasti muovi asennetaan usein liian aikaisin, jolloin rakenne on vielä märkä. Tällöin jätetään kosteutta rakenteeseen, eikä se pääse kuivumaan. Rakenteiden kuivumista nopeutetaan tavallisesti lämpötilaa nostamalla, jolloin ilma pystyy sitomaan itseensä enemmän kosteutta.

4.2 Homeiden synty

Mikrobeja ja niiden itiöitä on kaikkialla ja ne ovat osa ekosysteemiä. Mikrobit vaativat kasvaakseen kosteutta, lämpöä, kasvualustan ja ravinteita. Mahdollisia terveyshaittoja alkaa syntyä, kun mikrobikasvusto alkaa kasvamaan rakenteissa. Homeiden itiöt kulkeutuvat hengitysilmaan ja aiheuttavat ihmisissä reaktioita. /10/

Homeille ja sienille suotuisat olosuhteet saavutetaan oikeassa kasvualustassa, lämpötilassa ja kosteustasossa. Kasvusto alkaa homeitiöstä, mistä kehittyy leviävä rihmasto. Home- ja mikrobikasvusto voi alkaa kasvamaan, kun suhteellinen kosteus on noin kahden viikon ajan yli 65 % ja lämpötila on yli 0°C. Mikäli olosuh-

teet home-ja mikrobikasvustolle ovat jatkuvasti suotuisat, kasvu voi tapahtua jo muutamassa päivässä. /7, 10/

Homeiden syntyyn vaikuttavia mikrobeja on suuri määrä ja jokaisella on omat ominaisuutensa. Ne pystyvät elämään eri olosuhteissa, joista riippuu, millainen mikrobikasvusto syntyy. Esimerkiksi lahottajasieniin kuuluva lattiasieni, *serpula lacrymans*, pystyy kasvattamaan rihmastoaan jo pelkästään suhteellisen kosteuden ollessa 20 %. Vaurioituneet rakennusosat on aina vaihdettava uusiin ja kasvusto poistettava. /10/

4.3 Hengittävä rakenne

Hengittävä rakenne on kiistelty termi ja se tulkitaan valitettavan usein väärin. Se mielletään virheellisesti vetoisaan rakenteeseen olettaen, että rakennuksen koko ilmanvaihto tapahtuisi ”hengittävien” rakenteiden läpi. Voidaan sanoa, että hengittävä rakenne on ominaisuus. /2/

Hengittävä rakenne tarkoittaa kaasujen siirtymistä rakenteessa materiaalin läpi. Toisin sanoen hengittävällä rakenteella on kyky päästää lävitseen vesihöyryä sekä mahdollisuus sitoa ja luovuttaa vettä rakenteen kastumatta. Käytännössä hengittävyys koostuu kahdesta tekijästä: diffuusiosta ja hygroskooppisuudesta. Rakenteiden kosteus pyrkii aina tasapainottumaan ympäröivän kosteuden kanssa. Tämän vuoksi hirsirakenteet säilyvät pitkään, kun niiden annetaan hengittää. Tätä ei saa estää muovilla ja muilla hengittävyyttä estävillä toimenpiteillä, jolloin on aina riski kosteusvaurioon. /2, 7/

Hengittävän rakenteen täytyy olla ilmatiivis, mutta ei höyrytiivis. Sen täytyy päästää kosteutta lävitseen. Rakennusmateriaalit on valittava tämä huomioiden. Esimerkiksi ilmansulkupaperilla estetään ilmavirtausten pääsy rakenteeseen. Muovin käyttö on tavallista uusissa rakennuksissa, mutta vanhoissa rakenteissa sen käyttöä täytyy harkita juuri hengittävyyden kannalta. Hengittävän rakenteen kannalta olennaista on myös riittävä ilmanvaihto. Puutteellisen ilmanvaihdon vuoksi rakenne ei pääse tuulettumaan ja kuivumaan, jolloin kosteus jää rakenteeseen. Täy-

tyy myös muistaa, että hengittävässä rakenteessa tapahtuva pieni lämpövuoto on edellytys rakenteen kuivumiselle. /2/

On usein suositeltavaa eristää rakennus ulkopuolelta kosteusteknisten ja kosteuskäyttäytymisen tekijöiden vuoksi. Esimerkiksi hirsirakennusta ei saa lisäeristää sisäpuolelta kuin enintään 30 millimetriä, ettei hengittävyys kärsi. Paksumpi eristeros tekee rakenteesta riskirakenteen. Usein puhutaankin, että vanhaa rakennusta saa lämmittää harakoille, sillä ne toimivat kosteusteknisesti eri tavalla kuin uudet rakennukset. Koneellisella ilmanvaihdoilla voidaan pilata rakenteiden tuuletuminen. /2/.

4.4 Epäpuhtauksien vaikutus terveelliseen asumiseen

On sanomattakin selvää, että epäterveelliset rakenteet ovat riski myös ihmisten terveydelle. Jokainen ihminen kokee ilman epäpuhtaudet eri tavalla ja toiset reagoivat niihin toisia herkemmin. Valitettavasti vielä nykyäänkin sisäilmaongelmista kärsiviä ihmisiä pidetään luulosairaina, vaikka sisäilmaongelmat tiedostetaan. Vielä nykyään lääketieteellisestikin on vaikea todistaa sisäilmaongelmien aiheuttajien ja sisäilmaongelmien yhteyttä, sillä niihin vaikuttavat lukuisat eri tekijät.

4.4.1 Sisäilmanlaatu

Sisäilmanlaatuun vaikuttaa suuri määrä eri tekijöitä ja se on niiden summa. Tiedetään, että liian korkea rakennekosteus vapauttaa ilmaan erilaisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, VOC-yhdisteitä, mitkä aiheuttavat ihmisille ärsytysoireita. Tavalisia ärsytysoireita ovat limakalvojen ärsytysoireet. VOC-lähteitä ovat useat rakennusmateriaalit. Muita usein esiintyviä epäpuhtauksia ovat PAH-, PCB-, ammoniakki-, formaldehydi- ja asbestiyhdisteet. PAH-yhdisteet ovat voimakashajuisia ja niitä esiintyy esimerkiksi puun kyllästysaineissa. PCB-yhdisteet ovat hajuttomia ja niitä esiintyy esimerkiksi saumamassoissa. Ammoniakkia esiintyy esimerkiksi puhdistusaineissa. Formaldehydi on voimakashajuinen yhdiste, jota on käytetty esimerkiksi lastulevyjen liimoissa. Asbestia on käytetty esimerkiksi putkieristeissä. Radon on radioaktiivinen kaasu, jota nousee maaperästä. Se on syö-

pää aiheuttava yhdiste. Nykyään rakennuksille tehdään tarpeen mukaan radonsuojaus. Kuvassa 6 on esitetty tarkemmin eri yhdisteiden lähteitä ja kuvassa 7 niiden käyttöaikoja. On huomioitava, että kyseisiä yhdisteitä voi löytää todella monesta rakennuksesta, sillä niitä on käytetty läpi vuosisadan. /10/

Kaikille yhdisteille ja partikkeleille on yhteistä se, että ne ovat terveydelle haitallisia. Home on erityisen vaarallinen yhdiste. Homeitiöiden tuottamat toksiniit aiheuttavat ihmisille oireita; pahimmassa tapauksessa pysyviä hengitystiesairauksia. Sisäilmankosteudella on suuri vaikutus haitta-aineiden pääsyyn sisäilmaan. Normaali sisäilmankosteus on 30–60 %. Liian alhainen kosteuspitoisuus aiheuttaa hengitystieoireilua, esimerkiksi limakalvojen kuivumista. Vastaavasti liian kosteat olosuhteet käynnistävät homeiden kasvun. Vanhoissa rakennuksissa esimerkiksi lattialaatat on saatettu liimata bitumipohjaisella lattialiimalla, jolloin liimasta haihtuu sisäilmaan haitta-aineita. /10/

Haitta-aine	Materiaali tai rakenne ja aikakausi, jolloin käytetty
Asbesti	Ilmanvaihtokanavat (krysotiili, amosiitti, krokidoliitti, 1930–1970-luku) Asbestisementtiputket (krysotiili, amosiitti, krokidoliitti, antofylliitti, 1930–1980-luku) Asbestisementtilevyt (krysotiili, antofylliitti ja joskus krokidoliitti, v. 1910–1990) Lattia- ja seinätaasoitteet (antofylliitti, 1950–1970-luku) Lattianpäällysteet (krysotiili, v. 1957–1988) Lattianpäällysteet märkätiloissa (antofylliitti, krysotiili, v. 1954–1975) Muovitatetit märkätiloissa (krysotiili, 1970-luku) Sisätilapäällysteiden bitumiliimat (antofylliitti tai krysotiili, 1950–1960-luku) Keraamisten laattojen kiinnityslaastit (antofylliitti, 1960–1970-luku) Julkisivumaalit (krysotiili, v. 1960–1988) Putkieristeet (krokidoliitti, krysotiili, amosiitti, antofylliitti, v. 1930–1977) Vedeneristeet/bitumiliuokset (krysotiili, v. 1927–1986) Palonsuoja- ja akustiikkalevyt (krokidoliitti, antofylliitti, krysotiili, 1950–1970-luku) Palonsuojaruiskutus (krokidoliitti, amosiitti, v. 1939–1977)
Mineraaliöljyt	Polttoaineet, leikkuunesteet, moottoriöljyt ja muut voiteluaineet (mineraaliöljyllä pilaantunut rakenne on tavallisesti ulkoisen lähteen pilaama) Asfaltit ja valuasfaltit
PAH-yhdisteet (kreosotti)	Puumateriaalin kyllästysaineet, bitumituotteet (joissakin tuotteissa vielä 1990-luvulla) Asfaltit ja valuasfaltit
PCB-yhdisteet	Saumaussmassat (...1989) Lämpölasit (v. 1960–1977) Korroosionestomaalit, kondensaattorit ja muuntajat
Metalliyhdisteet	Saumaussmassat (...1989) Korroosionestomaalit (lyijyä vielä 1990-luvulla) Väriaineet Lamput (edelleen käytössä, myös energiansäästölamput) Jäähdytys-, voitelu- ja kyllästysnesteet (ulkopuolinen lähde) Lämpömittarit

Kuva 6. Terveydelle haitallisia yhdisteitä. /10/

	Asbesti	Mineraaliöljyt	PAH-yhdisteet (kreosootti)	PCB-yhdisteet	Metalli- yhdisteet
...1900	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty
1900–1930	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty
1930–40	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty
1940–50	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty
1950–60	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty
1960–70	käytetty	käytetty	mahdollisesti	käytetty	käytetty
1970–80	käytetty	käytetty	mahdollisesti	mahdollisesti	käytetty
1980–90	käytetty	käytetty	mahdollisesti	ei tiedossa ¹⁾	käytetty
1990–2000	mahdollisesti	käytetty	mahdollisesti	ei tiedossa ¹⁾	käytetty
2000–2010	ei tiedossa ¹⁾	käytetty	ei tiedossa ¹⁾	ei tiedossa ¹⁾	käytetty

Kuva 7. Haitallisten yhdisteiden käyttöaikakaudet. /10/

4.4.2 Sisäilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä

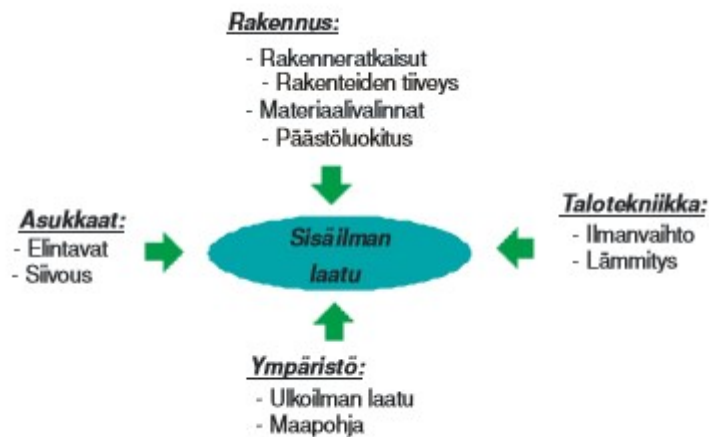
Sisäilmanlaatu on todella laaja käsite, ja siihen vaikuttaa lukematon määrä tekijöitä. Sisäilmanlaatuun vaikuttavat päätekijät voidaan kuitenkin tiivistää yhdeksi kokonaisuudeksi. Kuvassa 8 esitetyssä kaaviossa on eritelty sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä. Rakennerratkaisut ja materiaalien valinta on suunniteltava siten, että välttään kosteus- ja homevaurioilta. Rakenteiden ja niiden osien täytyy olla terveitä ja kuivia niitä asennettaessa ja ne täytyy pitää kuivina huolehtimalla riittävästä tuuletuksesta. Rakennuksen täytyy olla myös ilmatiivis, jolloin haitallisia yhdisteitä ei pääse sisäilmaan. /10/

Rakennukset suunnitellaan alipaineisiksi, eli raikas ja puhdas korvausilma tuodaan ulkoa. Uusissa rakennuksissa on pääsääntöisesti koneellinen ilmanvaihto, mutta vanhoissa rakennuksissa on painovoimainen ilmanvaihto tai osittain koneellinen. Suurten hormien ja takkojen avulla hoituu myös osa ilmanvaihdesta. /10/

Ulkoilman epäpuhtaudet kulkeutuvat myös sisäilmaan, mikäli niitä on. Maapohjasta voi kulkeutua esimerkiksi radonia. Tässäkin tapauksessa rakennuksen ilmatiivius korostuu. /10/

Terveelliseen sisäilmaan vaikuttavat myös asukkaiden tottumukset ja elintavat. On sanomattakin selvää, että säännöllisellä siivouksella ehkäistään ilman epäpuh-
tauksia. Pöly ja eläimistä irtoavat karvat ovat tavallisia sisäilman epäpuhtauksia.

/10/



Kuva 8. Sisäilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä. /10/

5 POHJALAISEN TALON RAKENNERATKAISUT

Pohjalaistalojen rakenteissa on käytetty vanhoja materiaaleja ja valmistusmenetelmiä. Kuitenkin vielä nykyäänkin hirsitalot ovat hyvin säilyneitä. Tämä perustuu hirren käyttöön rakennusmateriaalina, mikä soveltuu hengittävyytensä ansiosta Suomen vaihteleviin sääolosuhteisiin. Rakenteissa on myös huolehdittu riittävästä tuuleutuksesta.

5.1 Perustukset ja alapohja

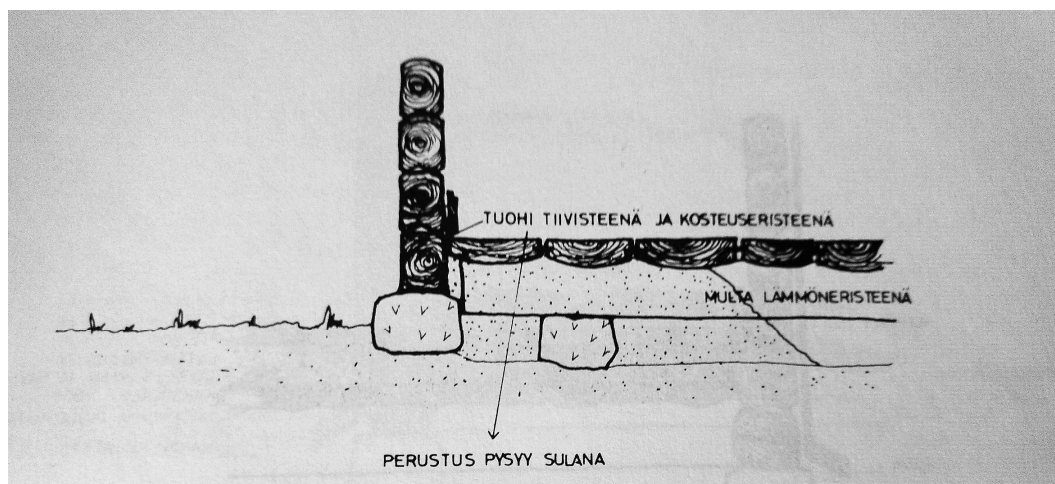
Perustuksissa pohjalaistaloissa on pääsääntöisesti kahta tapaa. Alimmat perushirret on voitu rakentaa suoraan maaperän päälle, jolloin ne ovat koko ajan maakosteudelle alttiina. Usein hirsikohteita remontoitaessa joudutaan juuri alimmat hirret vaihtamaan niiden kosteusrasituksen vuoksi. Maakosteuden välttämiseksi on rakennettu niin sanottuja multapenkkiratkaisuja, missä maanraja tiivistettiin mullalla aina lankkulattiaan asti. Kuvassa 9 on esitetty leikkaus multapenkkirakenteesta /1/.

Korkea kivijalka ja rossipohja eli tuulettuva alapohja on tullut käyttöön vasta 1800-luvulla. Koska Pohjanmaalla maaperä on pääsääntöisesti heikosti kantavaa ja routivaa savea, perustukset on kaivettu metrin syvyyteen. Pohjalle on laitettu kuormia tasaamaan muutamasta hirrestä tehty arina, minkä päälle on kasattu suurista kivistä tehty sokkeli. /1/

Hirsirakenne kestää kosteuselämistä sekä sietää pientä painumista. Hirsiseinä tuetaan alapuolelta vain nurkkien ja väliseinien kohdalta. Seinärakenne toimii kantavana palkkina, mikä siirtää kuormat perustuksille. /1/

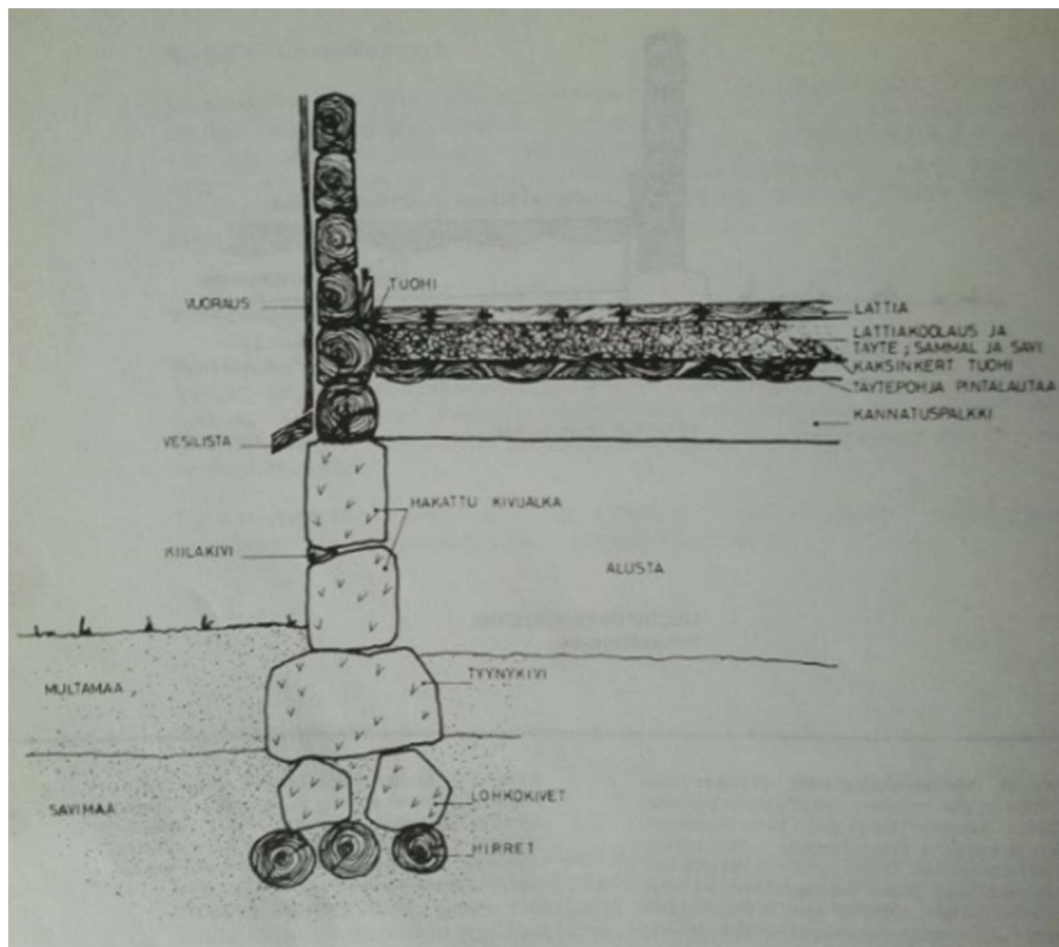
Alapohjana on ensin ollut pelkkä maalattia ennen puulattiaa. Varsin lyhytikäistä multapenkkirakennetta on käytetty paljon. Se antaa rakenteelle tiiveyttä, ja perusrakenne pysyy lämpimänä asunnon tuottaman lämmön ja maaperän lämmön vuoksi. Maakosteus kuitenkin lahottaa alapohjapalkit nopeasti. Tuolta on tuohon aikaan käytetty eristeenä lattialankkujen ja alapohjapalkkien välissä. Naulojen korkean hinnan vuoksi rakennuksessa on käytetty puutappeja. Lattialankut on saa-

tettu myöhemmin listoittaa, jolloin on saatu vedoton ja tiivis rakenne. Multapenkin hoito ja alapohjapalkkien vaihto on mahdollistettu rakentamalla seinän viereen irrotettavat lankut. /1/



Kuva 9. Multapenkkirakenne. /1/

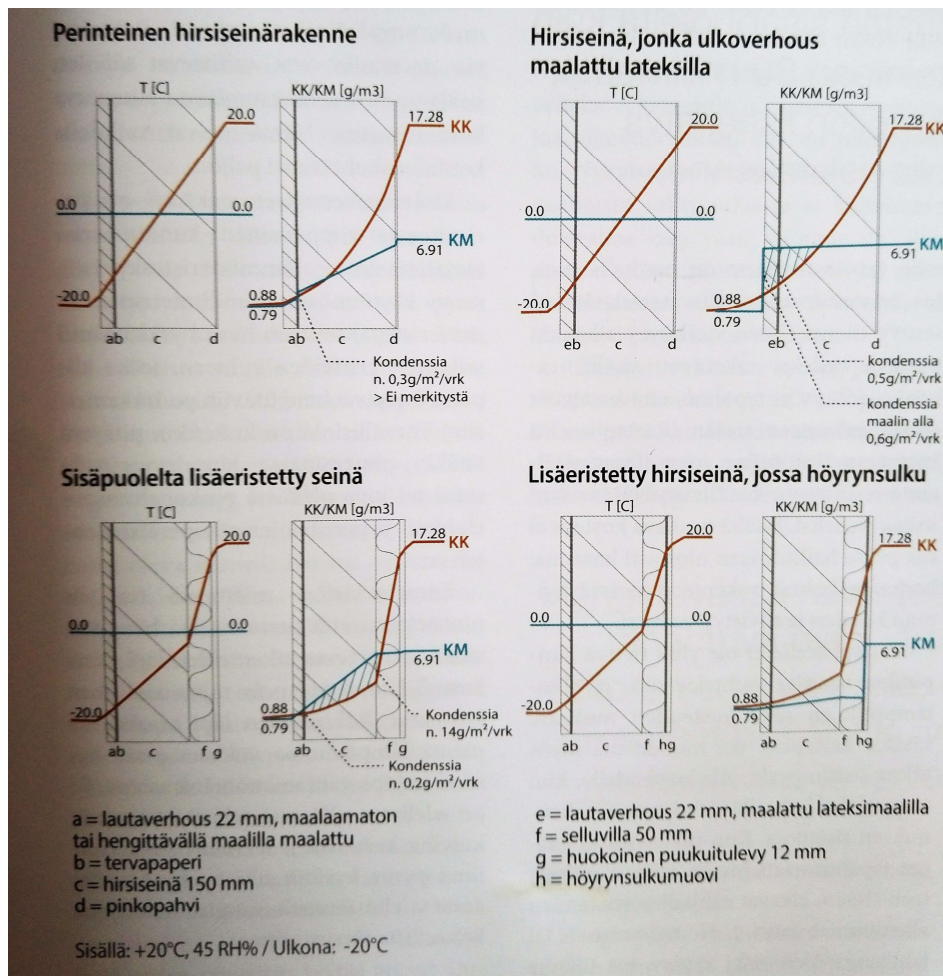
Kosteusteknisesti toimivampi ratkaisu on rossipohja, mikä on esitetty kuvassa 10. Iso kivijalka tuo rakenteelle näyttävyyttä. Hirsiarinan päälle on rakennettu sokkelirakenne lohko- ja tyynykivistä. Kivijalka on hakattu. Rakenteessa kivijalka kannattelee lattiapalkkeja, joiden päälle on lisätty eriste ja lattialankut. Eristeenä on käytetty joko sammalta, savea tai tuohta. Rossipohjarakenne on kalliimpi ja monimutkaisempi, mutta pysyy kuivempana ja lämpimämpänä kuin maanvarainen multapenkkirakenne. /1/.



Kuva 10. Rossipohja eli täytepohjarakenne. /1/

5.2 Hirsiseinärakenne

Hirsi on rakennusmateriaalina ihanteellinen sen monipuolisuuden ansiosta. Hengittävyys-ominaisuutensa vuoksi se pystyy sitomaan ja luovuttamaan kosteutta. Hirsiseinä toimii isona kantavana palkkina, mikä kantaa suuriakin kuormia. Lisäksi hirsi toimii lämmöneristeenä ja sitä voidaan näyttävyytensä vuoksi käyttää sekä julkisivu- että sisäpintamateriaalina. /1/



Kuva 11. Kosteuden tiivistyminen hirsiseinässä. /2/

Kuvassa 11 on esitetty kosteuden käyttäytymistä hirsirakenteessa. Vasemman puoleisessa leikkauksessa esitetään rakenteessa tapahtuva lämpötilan muutos. Oikean puoleisessa leikkauksessa vastaavasti esitetään kosteus määrä ja kastepiste rakenteessa. /2/

Perinteisessä hirsiseinärakenteessa huomataan, että rakenne toimii lautaverhouksen kanssa. Tämä perustuu rakenteen kykyyn vastaanottaa ja luovuttaa kosteutta, jolloin kosteus pääsee kuivumaan rakenteesta. Vastaavasti, jos ulkoverhous on maalattu vesihöyryä läpäisemättömällä rakennusmateriaalilla, esimerkiksi lateksimaalilla, estetään rakenteen hygroskooppinen ominaisuus, ja kosteutta pääsee

kondensoitumaan maalipinnan alle. Huomataan, että tervapaperi toimii ilmansulkuna, sillä se päästää kosteutta lävitseen.

Sisäpuolisessa lisäeristyksessä huomataan höyrynsulkumuovin merkitys. Mikäli sitä ei ole asennettu lämpimään sisäpintaan huokoisen puukuitulevyn alle, diffusion vuoksi kosteutta pääsee eristeeseen ja kondensoituu sinne. Täytyy muistaa, että kosteuskäyttäytymismallinnukset ovat vain teoreettisia, ja jokainen tapaus on tarkasteltava aina erikseen. Muuttuvia tekijöitä kosteuskäyttäytymiseen on lukuisia; esimerkiksi sääolosuhteet vaikuttavat paljonkin tuloksiin.

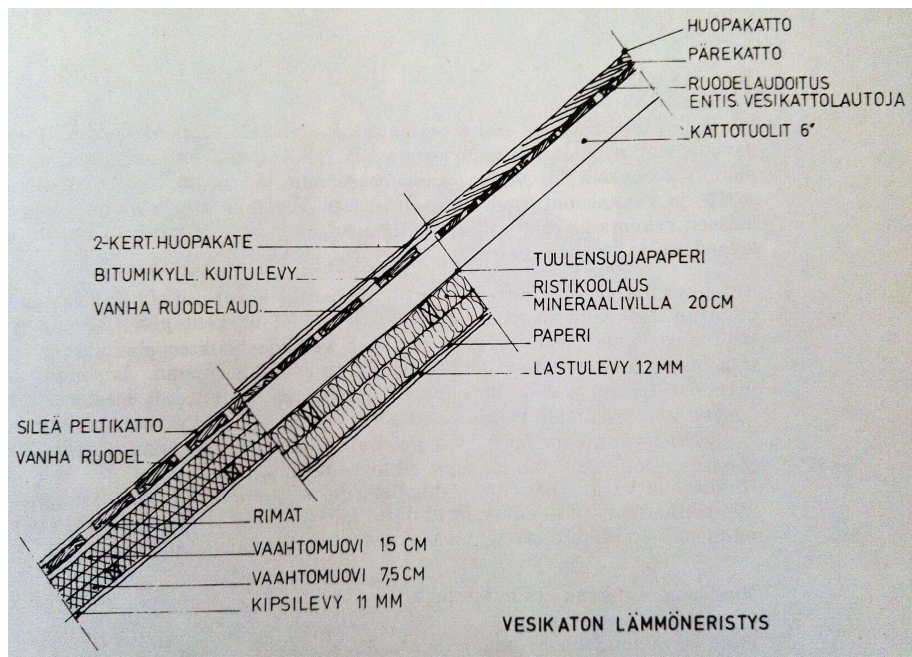
5.3 Välipohja ja yläpohja

Pohjalaistalon välipohja on rakenteeltaan tavallisesti samantyylinen kuin alapohjarakenne. Rakenteeseen on voitu lisätä niin sanottu laipiolaudoitus, mikä on naulattu lattiapalkkeihin. Laipiolaudoitus ei kannata täytettä; sitä varten on tehty erillislaudoitus. /1/

Yksinkertaisin yläpohjarakenne on kantavien palkkien päälle naulattu laipiolaudoitus, minkä päällä on eristeenä sammal- tai maakerros. Eristyksen kannalta parempi ratkaisu on myöhemmin käyttöön otettu välipohjarakenne. Ullakkotilassa ei tavallisesti ollut lankkulattiaa ja täyte-eriste oli näkyvissä. Myöhemmin on saatettu lisätä lattia uudesta koolauksesta, missä lankut makaavat eristeen päällä ja koolaus on lankkujen päällä. /1/

5.4 Vesikattorakenne

Harjakatossa kannatteena käytettiin orsirakennetta, missä väliseinät on nostettu ylös tukemaan orsia. Orsia on tavallisesti 3–5 kappaletta. Orret hoitavat myös päätykolmioiden kannattelun. Kattotuolirakenne on tullut Ruotsista 1800-luvulla. Katemateriaalina on käytetty ensin huopaa, sitten peltiä. /1/



Kuva 12. Esimerkki vesikaton lämmöneristyksestä. /1/

Kuvassa 12 on esitetty eri vesikattotyyppejä. Ylimpänä kuvassa on tyypillinen eristämätön vesikattorakenne. Keskimmäisenä vesikattorakenteena on ristiinkoolattu lisäeristys. Rakenteessa on huolehdittu riittävästä tuuletuksesta kattotuolien kohdalla. Alimmaisessa kuvassa peltikaton alla on kolminkertainen lisäeristys. /1/

6 LÄMPÖKUVAUS JA KOSTEUSMITTAUS

Rakennuksen ja rakenteiden lämpökuvaaminen on ainetta rikkomaton menetelmä, millä voidaan suuntaa antavasti arvioida rakenteiden ja rakennusmateriaalien kuntoa, laatua ja toimivuutta. Lämpökuvaus on tyypillinen rakennusten kuntotutkimusmenetelmä. Sitä käytetään niin uudisrakennusten laadunvalvonnassa kuin vanhempien rakennusten kuntotutkimuksissa. Oikein käytettynä se on tarkka ja puolueeton mittausmenetelmä. /11/

6.1 Lämpökuvauksen perusteita

Lämpökuvauksen luotettava ja asiantunteva tulosten analysointi vaatii lämpökuvaajalta rakennusfysiikan sekä rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä tuntemusta. Lisäksi kuvaajan täytyy tuntea lämpökameran ja eri sovellusohjelmien toiminta. Lisäksi lämpökuvaus on edullinen lämpötekniinen mittausmenetelmä. /11/

Lämpökuvauksella halutaan selvittää rakennuksen ja eri rakennusmateriaalien ominaisuuksia. Näitä ovat esimerkiksi rakenteiden lämpöolosuhteet, vaipan ilmanpitävyys, mahdolliset kosteus- ja homevauriot sekä talotekniikan toimivuus. Asumisviihtyvyys on asukkaille tärkeä arvo, ja siihen halutaan kiinnittää huomiota. Veto ikkunoista ja esimerkiksi kylmän tuntuinen sisäilma tuntuvat epämiellyttäviksi. Nykypäivänä painoarvoa annetaan myös rakenteiden kestävyys, lämmöneristyskykyyn, tiiveyteen, energiankulutukseen, energia- sekä elinkaarikustannuksiin. /11/

Tyypillinen rakennuksen lämpökuvaus sisältää rakennuksen ulkovaipan sisä- ja ulkopuolisen kuvauksen. Tällä etsitään vaipan viat ja puutteet, kuten ilmapuodot ja kylmäsiljat. Lämpökuvausta tehdessä mitataan myös sisä- ja ulkoilman olosuhteita, kuten lämpötilaa, suhteellista kosteutta sekä sisä- ja ulkoilman paine-eroja. Näiden lisäksi aistinvaraisesti voidaan tehdä päätelmiä sisäilman laadusta sekä ilmanvaihdosta. Lämpökuvaukselle on määritetty omat standardinsa, jotka löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelmasta osista C3, C4, D2 ja D3. Lämpökuvauksesta laaditaan dokumentti eli lämpökuvausraportti, missä esitetään vaipan

rakennusosat ja kohdat, joissa on puutteita. Raportin tulee olla selkeä ja asianmukainen, missä kuvauksen tulokset esitetään selkeästi. /11/.

Rakennuksesta kuvataan rakenteiden pintalämpötiloja, mikä perustuu pintojen emittoimaan lämpösäteilyyn. Materiaaleille on määritetty emissiokerroin, mikä kuvaa pinnan kykyä emittoida infrapunaenergiaa täysin mustaan kappaleeseen verrattuna. Emissiokerroin on 0 ja 1 välillä. Rakennusmateriaalien emissiokertoimet ovat tavallisesti 0,85–0,95. Lämpökamerakuvissa punainen väri tarkoittaa lämpimämpää rakennusosaa kuin sininen/violetti väri. Markkinoilla on olemassa ominaisuuksiltaan erilaisia lämpökameroita, joiden hintahaarukka on noin 1 000€ aina 40 000 euroon asti. Olennaista kameroiden käytössä on niiden säännöllinen kalibrointi tulosten luotettavuuden takaamiseksi. Kalibroinnista täytyy olla olemassa kirjallinen dokumentti. /11/

Kuvauksessa on huomioitava oikea kuvauskulma, jolla pyritään minimoimaan taustan heijastukset ja vaikutukset lämpökuviin. Pääsääntöisesti kuvauskulma pyritään pitämään kohtisuorassa kuvattavaan pintaan. Yli 45° kuvauskulma aiheuttaa merkittävää heijastusta kuviin. Ulkokuvauksessa kulman tulee olla noin 30°. Kameran asetuksissa tulee huomioida emissiokertoimen lisäksi heijastuva lämpötila, kuvausetäisyys, ilman lämpötila sekä ilman suhteellinen kosteus. /11/

Kuvassa 13 on esitetty tyypillinen lämpökuva rakennuksen nurkasta. Huomataan, että tyypillisiä ilmavuoto- ja kylmäsihtakohtia rakennuksissa ovat esimerkiksi nurkat, lattianrajat, liitoskohdat, ikkunoiden ja ovien liittymät sekä läpiviennit. Lämpökuville esiintyy lämpöindeksi, millä arvioidaan rakennuksen vaipan lämpöteknistä toimivuutta silloin, kun mittauksia ei voida tehdä vakio-olosuhteissa. Vaipan pintalämpötiloja verrataan toisiinsa ja lämpöindeksi ilmoitetaan prosenttilukuna. /11/



Kuva 13. Esimerkki hirsitalon lämpökamerakuvasta. /11/

6.1.1 Kaksivaiheinen lämpökuvaus ja tiiveysmittaus

Lämpökuvausta tehdessä on tärkeää ymmärtää rakennuksen painesuhteet. Kaksivaiheista lämpökuvausta käytetään silloin, kun selvitetään erityisesti rakennuksen ilmavuotopaikkoja. Tällöin pyritään erottamaan kylmäsillat ilmavuotokohdista. Lämpökuvauksen ensimmäinen vaihe tehdään ilmanvaihdon ollessa normaalissa käyttötilassa. Tarkoituksena on, että ilmanpaine-ero on mahdollisimman pieni. Vastaavasti toisella kuvauskerralla kuvaustilaan järjestetään tehostettu alipaine. Tämä on -10 ja -90 Pascalin välissä. Normaalisti lämpökuvaus tehdään -0...-5 Pascalin alipaineessa. /11/

Tiiveysmittaus on edullinen ilmapuotokohtien mittausmenetelmä, millä voidaan selvittää rakennuksen vuotokohdat jo rakentamisvaiheessa. Tiiveysmittauksen avulla voidaan laskea rakennusten energiatodistuksissa oleva ilmapuotoluku. Mittaus suoritetaan paine-eromenetelmällä, jossa mitattavaan tilaan aiheutetaan merkittävä paine-ero ulkoilmaan nähden. Paine-ero saadaan aikaan kalibroiduilla puhaltimilla. /11/

6.1.2 Lämpökuvien tulkinta

Koko lämpökuvauksen ja ilmatiiveysmittauksen tärkein vaihe on tulosten ja kuvien analysointi. Suurimpia tulkintavirheitä lämpökuissa tehdään silloin, kun kuvissa näkyy sinistä tai mustaa. Niillä esitetään pelkästään lämpötilaeroja, eivätkä ne siten välttämättä kerro viallisesta rakenteesta. On myös huomioitava kuvauksen aikana vallinneet paineolosuhteet eli alipaine, jolla pyritään osoittamaan ilmapuotokohdat. Standardien mukaan suoritettu lämpökuvaus antaa luotettavimmat tulokset. /11/

Lämpökuvauksesta raportoidaan selkeät mittauspoikkeamat. Niitä ovat muun muassa kylmäsillat ja ilmapuotokohdat. Ne voivat kertoa esimerkiksi kosteusvauriosta, eristevaiasta sekä puutteellisesta ilmatiiveydestä. Lämpökuvausraportissa otetaan kantaa myös rakenteiden korjaustarpeisiin määrittämällä rakenteille korjausluokitus väliltä 1-4. Korjausluokitus 1 kertoo suositeltavasta korjaustoimenpiteestä. Korjausluokitukset määritetään lämpötilaindeksien avulla. /11/

6.2 Kosteusmittauksen perusteita

Rakennuksille tehtävien kosteusmittausten tarkoituksena on selvittää rakenteiden tai rakennusosien kosteuspitoisuus rakenteen pinnasta tai sisältä. Kosteusmittauksissa voidaan mitata myös ilman tai rakenteen suhteellista kosteutta. Mittauksia suoritetaan niin uudiskohteissa rakenteiden kuivumisen seurannan yhteydessä kuin korjausrakentamisessa kuntotutkimusten yhteydessä. /12/

Vanhemmille rakennuksille tehtävissä kosteusmittauksissa kosteutta etsitään tavallisesti ainetta rikkomattomilla periaatteilla. Niitä ovat esimerkiksi pintakosteusmittaukset sekä sisäilman suhteellisen kosteuden mittaaminen. Mikäli epäil-

lään kosteusvauriota, voidaan rakenteita avaamalla selvittää kosteuspitoisuus rakenteen sisältä. /12/

Pintakosteusmittaukset ovat suuntaa antavia ja ne sisältävät epävarmuustekijöitä. Niillä voidaan mitata rakenteiden kosteuseroja, mutta ne eivät anna luotettavaa tietoa rakenteen kosteuspitoisuudesta. Pintakosteusmittaukset soveltuvat esimerkiksi vesivahinkotapauksiin. Mittareita on erilaisia, kuten antureitakin. Tämän vuoksi on suositeltavaa suorittaa tarkempia rakennekosteustutkimuksia. /13/

Piikkimittausta käytetään puun kosteuspitoisuuden selvittämiseen. Mittarin toiminta perustuu kahden puun sisään lyötävän metallielektrodien väliseen konduktanssiin. Mittausmenetelmä on pintakosteusmittausta luotettavampi, ja epävarmuustekijöitä on vähemmän puumateriaalin homogeenisuuden vuoksi. Sähköjohtavuuteen perustuvien mittausten tulosten epävarmuustekijöitä ovat muun muassa suolat, erilaiset kemikaalit ja metallit. Menetelmä sopii myös kiviperäisille materiaaleille, kuten betonille. /12/

Sisäilman suhteellista kosteutta mitattaessa on sisäilman lämpötilan lisäksi huomioitava ulkoilman lämpötila ja kosteuspitoisuus, rakennuksen ilmanvaihto sekä eri kosteuslähteet. Sisäilman suhteellinen kosteuspitoisuus on pääasiassa talvella pienempi kuin kesällä. Tämän menetelmän pääasiallisena tavoitteena on selvittää rakenteiden kosteuskäyttäytymistä. /13/

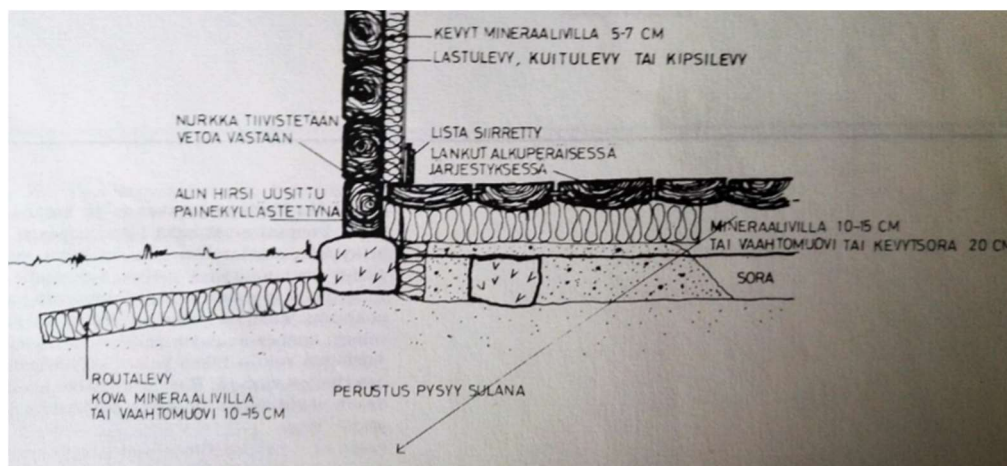
Kosteusmittauksia tehdessä täytyy kiinnittää huomioita saatujen tulosten kriittiseen analysointiin. Varsinkin pintakosteusmittauksia tehdessä saadut tulokset eivät välttämättä kerro koko totuutta. Tätä mittausmenetelmää käytetäänkin kosteiden rakenneosien kartoittamiseen. Kosteusmittausten yhdistäminen lämpökamerakuvaukseen antaa enemmän tietoa rakenteiden lämpö- ja kosteuskäyttäytymisestä.

7 KORJAUSSUUNNITTELU

Vanhan rakennuksen korjaaminen on tasapainoilua korjauskustannusten sekä rakennusteknisten vaihtoehtojen välillä. Yhä kiristyvät energiatehokkuusvaatimukset saattavat ohjata korjausrakentamista väärään suuntaan. Ne saattavat vaarantaa rakennuksen rakennusfysikaalisen toiminnan, jolloin rakennuksista saatetaan tehdä homeloukkoja. Myös rakennuksen kulttuurihistoriallinen arvo saattaa kärsiä. Vanhoihin rakennuksiin ei voida suoraan käyttää uudisrakentamisen rakennusmetodeja, vaan ne täytyy soveltaa vanhalle rakennukselle sopivaksi. Painovoimaisen ilmanvaihdon sekä hengittävien rakenteiden avulla on tuettu isojen takkamuurien käyttöä, jolla on pyritty pitämään rakenteet terveinä juuri riittävän ilmanvaihdon ansioista. Sanotaankin, että vanha rakennus saakin lämmitä vähän harakoille, jolloin mahdollistetaan terveellinen asuminen. /2/

7.1 Perustukset ja alapohja

Multapenkkirakenteisessa alapohjassa tavallisia puutteita ovat riittämätön lämmöneristys sekä vähäinen ilmatiiveys. Kuvassa 14 on esitetty yksi lisälämmöneristystapa. Routiminen estetään maan alle asennettavilla routalevyillä, esimerkiksi EPS-eristeellä. Lattian ilmatiiveyttä sekä lämmöneristystä on parannettu lisäämällä eristeet. Alin hirsi on vaihdettu kestävämpään painekyllästettyyn hirteen sekä multapenkki on korvattu soralla. Kyllästetyn puutavaran käytössä on kuitenkin huomattu terveysriskejä ja niiden käyttöä vältetään.



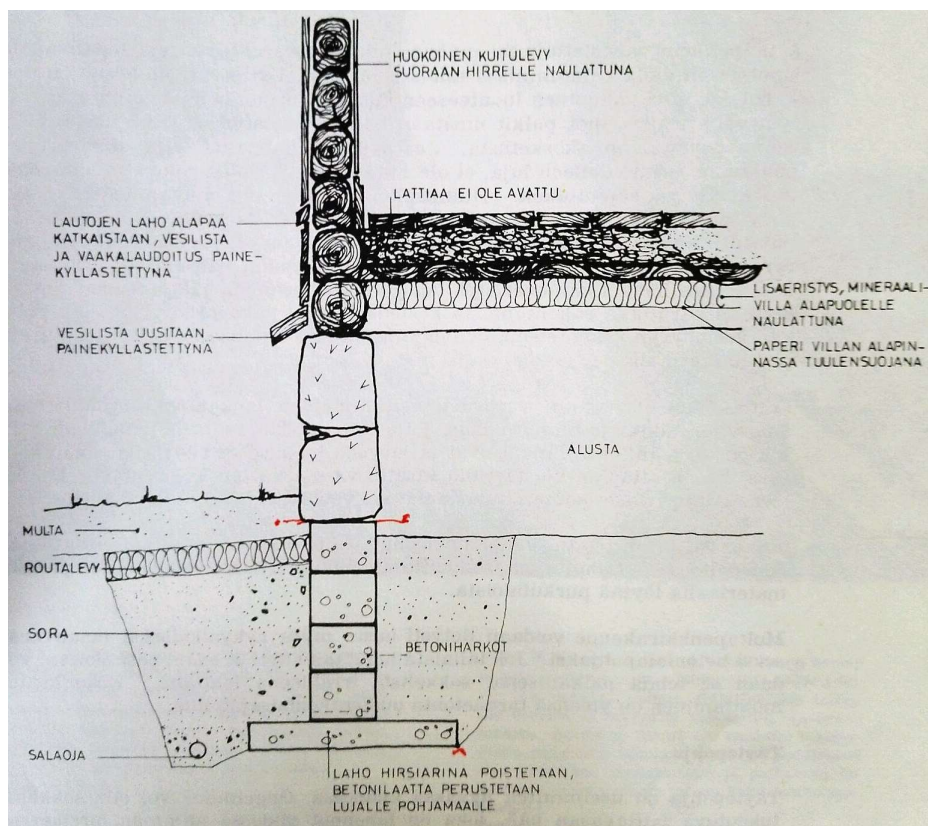
Kuva 14. Esimerkki multapenkkirakenteen lisäeristämisestä. /1/

Rakenteessa on silti kosteusteknisiä ongelmia. Rakennuksen alta nouseva kapillaarinen vedennousu seinärakenteeseen tulisi estää kapillaarikatkolla, esimerkiksi bitumikermillä. Maaperän suhteellinen kosteus on 100 %, ja se pyrkii tasoittumaan rakenteen kanssa. Mikäli eristettä on riittävän paksusti, alentaa se suhteellisen kosteuden sen verran alas, että kosteusongelmia ei synny.

Puurakentamiseen soveltuvat parhaiten orgaaniset eristemateriaalit niiden kosteusteknisten ominaisuuksiensa vuoksi. Tämäkin perustuu materiaalien hengittävyyyteen. Orgaanisia eristeitä ovat esimerkiksi olki, sammal, pellava, kutterilastu sekä huokoiset puukuitulevyt. Nykyään markkinoille on tullut myös selluvilla sekä luonnonkuiduista valmistetut eristelevyt. /2/

Kiviperäinen mineraalivilla ei sovi hirsirakentamiseen, sillä se tuhoaa hirren hengittävyysominaisuuden /2/. Mineraalivilla ei pysty sitomaan kosteutta /2/. Mineraalivillan, sekä muiden epäorgaanisten eristemateriaalien kanssa tulee käyttää sisäpuolista höyrünsulkua, esimerkiksi muovia /2/. Muovi parantaa oikein käytettynä rakenteen ilmatiiveyttä ja pitää ehjänä rakenteen kuivana. Mikäli muovia käytetään, on huomioitava, että rakenne pääsee tuulettumaan ja kosteus poistumaan. Rakennuksen alle maan pinnalle muovia ei saa asentaa, sillä kosteus kertyy muovin alle /14/. Sisäpuolista lämmöneristystä ei suositella nykyään 30 mm paksuimpana. /2/.

Perustusten painuminen, riittämätön lämmöneristys sekä riittämätön tuuletus alapohjassa ovat tyypillisiä ongelmia rossipohjarakenteisissa rakennuksissa. Maan routiminen estetään routasuojauksella. Routalevyt voidaan asentaa myös sokkelin sisäpuolelle, mikäli kivijalka on korkea. Talvisin lumen kolaaminen kivijalkaa vasten on tehokas lämmöneristystapa. /1/



Kuva 15. Esimerkki rossipohjan lisäeristämisestä. /1/

Kuvassa 15 on esitetty esimerkki rossipohjan lisäeristyksestä. Perustusten painuminen estetään valamalla rakennuksen alle betoniantura. Täytyy huomioda, että tämä on työläs ja kallis menetelmä. Maapinnan kantavuudesta tulee myös varmistua. Salaojituksella ja soramaalla estetään kapillaarinen nousu. Lattiarakenteeseen lisätään huokoista puukuituvillaa /2/.

Alapohjassa maanpinnalla täytyy olla esimerkiksi 150 mm EPS-eristettä, millä estetään maaperän jäädyttävä vaikutus rossitilan ilmaan. Mikäli eristys puuttuu, on se riski homevaurioille. Ryömintätilassa ei myöskään saa olla mitään orgaanista materiaalia, sillä ne homehtuvat sinne olosuhteiden vuoksi. /14/ Alapohjan lisäeristämällä on muutenkin suhteellisen pieni vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen /2/.

7.2 Hirsiseinärakenne

Tavallisesti hirsirakenteisessa rakennuksessa alimmat hirret ovat kosteudelle eniten alttiina. Nämä voidaan kuitenkin vaihtaa uusiin. Mikäli seinärakennetta halutaan lisäeristää, on suositeltavaa tehdä tämä ulkopuolelta. Ulkolautavuorauksen uusimisen yhteydessä on helppo lisätä 50–70 mm lisäeristettä. Rakenne toimii, kunhan huolehditaan tuuletusraosta ulkoeristyksen alla. /14/. Vanhan rakennuksen arvokkuus tosin kärsii, mikäli tehdään ulkopuolinen lisäeristys; rakennuksen mittasuhteet kärsivät, ja esimerkiksi räystäät jäävät vajaiksi /2/.

Rakennuksen arvokkuus kärsii myös sisäpuolisella eristyksellä. Asuinpinta-ala pienenee sekä vanhoja rakennedetaljeja ei pystytä uusimaan vastaamaan vanhaa rakennetta. Sisäpuolinen eristäminen on kuitenkin mahdollista, kunhan estetään kosteuden diffuusio seinärakenteeseen oikein asennetulla höyrynsulkumuovilla. /2/

Varsinkin seinärakenteissa kiinnitetään huomiota rakenteen ilmatiiveyteen. Ikkunadetaljit täytyy toteuttaa tiiveyden kannalta oikein, jottei vedon tunnetta synny. Sama koskee rakennuksen liitoskohtia, jotka täytyy tiivistää huolellisesti. Nykypäivänä rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä tarkastellaan entistä tarkemmin. Täytyy kuitenkin huomioida vanhan ja uuden rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden erot koskien rakennusten ilmatiiveyttä ja kosteusongelmia. /15/

7.3 Välipohja ja yläpohja

Välipohjassa ei tavallisesti ole vaurioita. Palkit saattavat olla taipuneita virumasta, eli pitkäaikaiskuormituksesta johtuen, mutta sitä voidaan pitää vanhalla rakennuk-

selle tyypillisenä ominaisuutena. Yläpohjasta saatetaan löytää vesikaton vuodon jälkiä, mikä kertoo vesikaton kiireellisestä uusimistarpeesta. /1/

Tavallisesti näihin rakenteisiin tarvitaan lisäeristystä. Vanha materiaali, kuten turve ja sammal vaihdetaan tarvittaessa uusiin. Riittävä eristepaksuus on 200 mm. Lisäeristys voidaan lisätä joko katon alapuolelle tai ullakon lattialle. Ylhäältä päin tehtävä lisäeristys laskee huonekorkeutta. Kuten muissakin vanhan talon rakenteissa, myös väli- ja yläpohjan eristeiden täytyy olla hengittävää materiaalia. /1/

7.4 Vesikattorakenne

Vuotavan vesikattorakenteen korjauksen yhteydessä on suositeltavaa tarkistaa myös muut kattorakenteet. Varsinkin kattotuolien kunnon ja liitosten on oltava kunnossa kuormien takia. Lahot materiaalit vaihdetaan uusiin. /1/

Vesikattoon voidaan tehdä myös lisäeristys. Edellä kuvassa 12 esitettiin muutama lisäeristystapa. Vuotava huopakate voidaan vaihtaa uuteen kaksinkertaiseen huopakatteeseen tai peltikatteeseen. Eristettä voidaan lisätä esimerkiksi 200 mm. Vesikattorakenne toimii oikein, kunhan rakenteeseen jätetään riittävä tuuletustila eristeen ja katteen väliin. Ristiinkoolaus ehkäisee yksittäistä eristekerrosta paremmin rakenteen läpi kulkevia lämpövuotoja. Mikäli talvella kattorakenteesta valuu isoja jääpuikkoja tai katto on sula, kertoo se suuresta yläpohjan lämpöhäviöstä. /1/

8 POHDINTA

Rakennusten kosteustekninen toimivuus ja riskirakenteiden analysointi on aiheena kiinnostava ja tärkeä terveellisen asumisen kannalta. Näihin asioihin täytyy nykyään kiinnittää entistä enemmän huomiota lisääntyvän asiantuntijuuden sekä parempien tutkimusmenetelmien ja tulosten tulkinnan vuoksi. Riskirakenteiden ja kosteusvaurioiden vaikutukset ja riskit täytyy tiedostaa ja niihin puuttua.

Vanhan rakennuksen kosteuskäyttäytyminen eroaa paljon uudisrakennuksesta. Varsinkin korjaussuunnitelmia tehdessä täytyy tarkoin harkita korjausmenetelmien ja -materiaalien soveltuvuutta rakenteeseen. Ihmisten täytyy ymmärtää rakennusfysiikan perusteet sekä rakenteen ”hengittävyys” ennen rakennuksiin tehtäviä muutoksia. Ilman asiantuntijuutta korjausrakentamiskohteista saatetaan tehdä ihmisille kelvottomia oleskelutiloja. Rakennuksen terveellisyyteen vaikuttavat asiat täytyy tiedostaa ja niistä raportoida asukkaille ja käyttäjille selkeästi.

Lämpökamerakuvauksin sekä kosteusmittauksin voidaan arvioida rakennuksen lämpö- ja kosteusteknistä toimivuutta entistä paremmin ja asiantuntijoiden avulla sekä oikein suoritetuin mittauksin saadaan luotettavampia tuloksia. Suuntaa antavien tulosten analysointi ja oikea tulkinta on ehdottoman tärkeää rakennuksen korjaustöiden kannalta. Vanhan pohjalaistalon lämpökuvauksessa voi ilmetä paljonkin vuotokohtia. Nämä ovat kuitenkin pohjalaistalon ominaisuuksia ja liittyvät rakennuksen hengittävyyteen, ilmatiiveyteen sekä eristysratkaisuihin.

Rakennusfysikaaliset asiat ovat ehdottoman tärkeitä ymmärtää niin uudis- kuin korjausrakentamisessakin. Kosteusteknisiin seikkoihin on aina suhtauduttava vakavasti ja asianmukaisesti, sillä ne ovat yhteydessä ihmisten terveelliseen asumiseen. Haluamme säilyttää vanhan rakennuskannan ennen kaikkea terveellisesti sekä kustannustehokkaasti asuen.

LÄHTEET

- /1/ Härö, E. & Kaila, P. 1976. Pohjalainen talo: Rakentajan opas. Helsinki. KYRIIRI OY 2930.
- /2/ Lahtinen, K.M., 2014. Viri ja valkee: Vanhan rakennuksen lämpö- ja energiatalous. Kopio Niini Finland Tampere 2014. Hämeenkyrö. Lunette rakennusperinnepalvelut.
- /3/ Mäkelä, M. & Riukulehto, S. 2016. Komeat pohjalaistalot. Viitattu 2.3.2017. Helsingin yliopiston Ruralia-instituutti. Vaasa. 9-11, 16, 51-52. <http://www.pohjalaistalo.fi/content2.php?cid=72>
- /4/ Villstrand, N-E. 2000. Miten maa makaa eli Pohjanmaa 1000+. Viitattu 2.3.2017. Julkaisussa: Tuhat vuotta Pohjanmaalla - Tusen år i Österbotten. Pohjanmaan museon julkaisuja no 22. 6-8. <http://www.pohjalaistalo.fi/content2.php?cid=72>
- /5/ Lång-Kivilinna, G. & Hautamäki, T. 2011. Kitinojan perinnekylä. Viitattu 2.3.2017. Rakennustapaohjeisto. Koto-hanke ja Kitinojan kyläseura ry. <http://www.pohjalaistalo.fi/content2.php?cid=72>
- /6/ Mäkelä, M. & Riukulehto, S. 2016. Komeat pohjalaistalot. Viitattu 2.3.2017. Helsingin yliopiston Ruralia-instituutti. Vaasa. 14-16, 36, 57, 62. <http://www.pohjalaistalo.fi/content2.php?cid=72>
- /7/ Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka: perusteen ja sovelluksia. Tammerprint Oy. Tampere. Rakennustieto Oy.
- /8/ Hahtokari, T. Rakennusfysiikka. Vaasan ammattikorkeakoulun käyttöön tarkoitettu oppimateriaali.
- /9/ Ympäristöministeriö. 2002. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. <http://www.finlex.fi/data/normit/1931/C4s.pdf>
- /10/ Ympäristöministeriö. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Hansaprint Oy. Turenki.
- /11/ Paloniitty, S., Paloniitty, J & Haimilahti, J. 2016. Lämpökuvaus rakentamisessa. Vaasa. OY FRAM AB. Rakennustieto Oy.
- /12/ Merikallio, T. Kosteusmittaus. Viitattu 16.3.2017. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK00s740.pdf>
- /13/ Sisäilmayhdistys ry. Kosteusmittaukset. Viitattu 16.3.2017. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Rakennustekniset-tutkimukset/Kosteusmittaukset>

- /14/ Jormanainen, P. & Matilainen, A. 1999. Korjausrakennustyöt. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy.
- /15/ Aho, H. & Korpi, M. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tampereen Yliopistopaino Oy.